

(19) JAPAN PATENT BUREAU (JP)

(11) Patent Announcement

(12) PATENT BULLETIN (A)

Heisei 5-253790

Technical Announcement

(51) Int. Cl.³ Classification Symbol Agency Classification No. F1 (43) Announcement: October 5,
1993
B 23 Q 11/14 7908-3C

Examination: NOT YET REQUESTED
Total Number of Invention: 4

(total 9 pages)

(21) Application No. Heisei 4 (1992) - 89719

(22) Applied on: March 13, 1992

(71) Patent Applied for
By: 000003458
Toshiba Machine Co., Ltd.
4-2-11 Gins, Chuo-ku, Tokyo-Prefecture

(71) Patent Applied for
By: 591151303
Canto Seiko Co., Ltd.
2-1-10 Oowatari-machi, Maebashi-City, Gunma-Prefecture

(72) Inventor: Akira Ochiai
2068-3 Ooka, Numazu-City, Shizuoka-Prefecture, Toshiba Machine Co., Ltd.,
Numazu Office

(72) Inventor: Kouya Watanabe
2068-3 Ooka, Numazu-City, Shizuoka-Prefecture, Toshiba Machine Co., Ltd.,
Numazu Office

(74) Representation: Motonari Tomizaki
Patent Attorney

(Continuing to the final page)

(54) Name of Invention: Super-precise temperature control system and its control
method for machine tools

(57) Abstract:

Purpose: To temperature-control with super-precision the controlled object
that has a large degree of load shift or wasted time.

Structure: The personal computer (5) sends a command to the high-precision
PID temperature control unit (10) in order to renew and correct the target control value T_0 ,
NEW only to the extent of the temperature difference between the preset value T_c of the
temperature of the heating medium's return oil T_2 and the temperature of the actually-
controlled return oil T_2 , which is $\Delta T = T_c - T_2$. The high-precision PID temperature control

unit (10) receives this command, and adjusts the amount of heat generation of the heat control heater (17) via the constant power thyrister phase controller (16). The heat control heater (17) heats up the heat medium fluid, and sends it to the work machine (1) via the sealed delay tank (21). The heat medium fluid is heat-exchanged at the work machine (1) and returned to the above-mentioned cooling system.

(51)Int.Cl.⁴

B 2 3 Q 11/14

識別記号

庁内整理番号

7908-3C

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4(全 9 頁)

(21)出願番号 特願平4-89719
(22)出願日 平成4年(1992)3月13日

(71)出願人 000003458
東芝機械株式会社
東京都中央区銀座4丁目2番11号
(71)出願人 591151303
関東精機株式会社
群馬県前橋市大波町2丁目1番地の10
(72)発明者 落合 ▲あきら▼
静岡県沼津市大岡2068の3 東芝機械株式
会社沼津事業所内
(72)発明者 渡邊 紘也
静岡県沼津市大岡2068の3 東芝機械株式
会社沼津事業所内
(74)代理人 弁理士 宮崎 元成

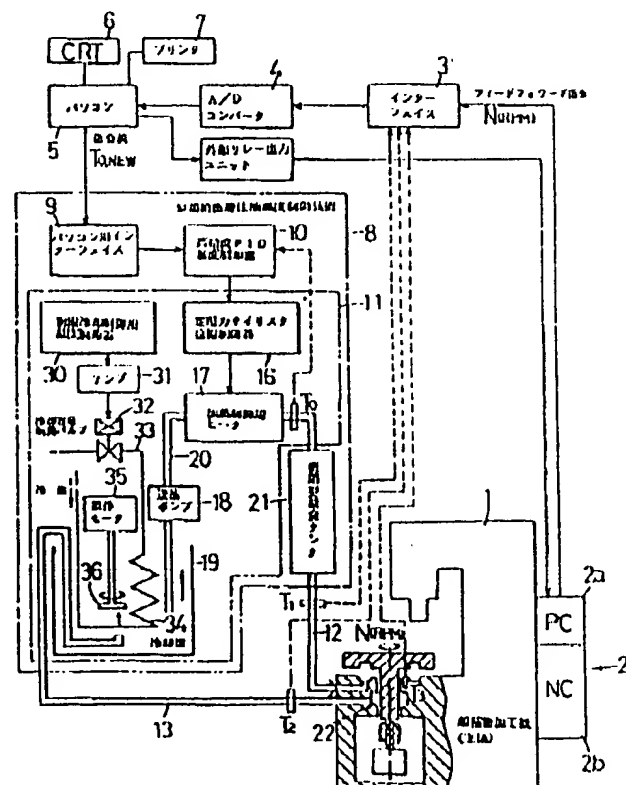
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 工作機械の超精密温度制御システム及びその制御方法

(57)【要約】

【目的】 負荷変動が大きい系や無駄時間要素を含む制御対象を超精密に温度制御する。

【構成】 パソコン5は、熱媒体液の戻り油温度 T_2 の設定値 T_c と、実際に制御されている戻り油温度 T_2 との温度差 $\Delta T = T_c - T_2$ だけ送油温度 T_1 の制御目標値 $T_{0, NEW}$ を更新、修正するために高精度PID温度調節器10に指令する。高精度PID温度調節器10はこの指令を受けて、定電力サイリスタ位相制御器16を介して加熱制御用ヒータ17の発熱量を制御する。加熱制御用ヒータ17は、熱媒体液を加熱して密閉型減衰タンク21を介して加工機械1に送る。熱媒体液は、加工機械1で熱を交換して前段冷却手段に戻す。



【特許請求の範囲】

【請求項1】加工機械を構成し、かつ熱発生源を有する構成要素と、

前記構成要素に熱媒体液を接触させて前記構成要素を設定温度に加熱するための熱媒体液と、

前記加工機械から出た前記熱媒体液を予め決められた一定温度に冷却するため前段冷却手段と、

前段冷却手段から送られた前記熱媒体液を加熱するための加熱制御用ヒータと、

前記加熱制御用ヒータの発熱量を制御するため加熱制御手段と、

前記加熱制御用ヒータから出てきた前記熱媒体液を一時的に蓄え、かつ前記加工機械に送るための密閉型減衰タンクと、

機械温度を検知するための機体温度センサと、

前記加熱制御用ヒータの出口の前記熱媒体液の送油温度を検知するための送液温度センサと、

前記構成要素の出口の前記熱媒体液の戻り油温度を検知するための機械出口液温センサと、

前記機体温度センサ、前記送液温度センサ及び機械出口液温センサの検出温度データを受取り演算して、前記加熱制御手段に温度を出力するためのパソコンとからなる工作機械の超精密温度制御システム。

【請求項2】請求項1において、

前記前段冷却手段は、

前記熱媒体液を冷却媒体で冷却するための熱交換器と、

前記冷却媒体の流量を制御するための電磁膨脹弁と、

前記電磁膨脹弁をPID制御して前記熱媒体液を設定温度に制御するための前段冷却温度調節器とからなる工作機械の超精密温度制御システム。

【請求項3】請求項1又は2において、

前記加熱制御手段は、

前記加熱制御用ヒータへ供給する電力を制御するための定電力サイリスタ位相制御器と、

前記パソコンからの目標温度指令により前記定電力サイリスタ位相制御器をPID制御するための高精度PID温度調節器とからなる工作機械の超精密温度制御システム。

【請求項4】請求項3において、

前記戻り油温度の設定値と、実際に制御されている戻り油温度との温度差だけを前記送油温度の制御目標値とし、かつ前記戻り油温度が目標値に対して一定の範囲内にあれば前記制御目標値を変えないように制御することを特徴とする工作機械の超精密温度制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光学レンズ等の超精密加工を行う工作機械の作動油を、超精密に温度制御を行うと同時に、温度データを高精度に計測、記録するための工作機械の超精密温度制御システム及びその制御方法

に関する。

【0002】

【従来技術】光学レンズ等の超精密加工を行う工作機械の機体は、可能な限り変形を避けなければならない。取り分け、機体の熱変形を防ぐには、静圧軸受、案内用作用油、切削油、シャワーシステムにおける液体等を精密に温度制御する必要がある。この温度制御技術として、熱交換器を複数段重ねることによって、温度変動幅を繰り返し減衰させたり、または特殊な減衰槽を用いて温度変動幅を減衰させる方式（例えば特公平2-48383号）等が用いられているが、これらはすべて送液温度の過渡偏差（温度変動幅）を極小にすることを目的としたものであった。

【0003】それらの方式は、機械側の負荷が一定しているシステムの温度制御としては極めて有効であるが、負荷変動が見込まれるシステムや、制御対象が大きな無駄時間要素、すなわち入・出力間の変化に時間遅れを生じるシステムについては、定常偏差が大きくなる。過去に提案されたシステムは、制御液温がこの時間遅れによって、温度変動幅が大きくなるという不安定な性質を有し、精密に液温を制御するという要求を満足するものではなかった。また、このシステムは、制御対象である工作機械が変わったりした場合には、温度制御装置もそれに応じて変えたり、制御用パラメータを実験的に求めて再設定する等の必要があった。

【0004】一方、温度の計測や記憶装置は、温度制御装置とは別個に独立した形で設けられることが一般的である。分解能が0.001℃程度の精度の高い温度計測素子としては、熱電対やサーミスタを用いて電気抵抗を電圧に変換し、温度換算して読み取るものや、水晶発振の振動数が温度によって規則的に変化することを利用した水晶温度計等が市販されている。

【0005】しかし、熱電対やサーミスタなどの素子は、温度に対する抵抗値の線形性が良好ではなく、かつドリフト等の影響を受けやすいという欠点があり、水晶温度計はセンサや測定器が特殊で高価なものになり、また記録するにはパソコンを用いてデータ処理する必要があるという問題もあった。

【0006】

【発明が解決使用とする課題】工作機械の温度制御装置は、超精密な加工精度を実現するために、負荷一定系又は負荷変動系、あるいは無駄時間を持ったシステム等、制御対象である種々の工作機械に対して対応できるものが要求される。更にこのシステムはフレキシブルな制御システムを構成し、かつ温度の定常偏差および過渡偏差を極小にすることが要求される。

【0007】また近年、工作機械の温度制御装置は、例えば0.001℃の分解能で温度制御すると同時に、0.001℃単位で温度情報をデータ処理も要求される。しかし、従来の工作機械の温度制御装置は、汎用性

がなく工作機械が異なると使えないし、データを記録、及び処理する能力もないものが一般的であった。この発明は、これらの背景で発明されたものであり、以下の目的を達成する。

【0008】この発明の目的は、負荷変動が大きい系や無駄時間要素を含む制御対象を超精密に温度制御できる工作機械の超精密温度制御システムを提供することにある。

【0009】この発明の他の目的は、温度制御状態を計測・記録できる工作機械の超精密温度制御システムを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために次のような手段を採る。

【0011】加工機械を構成し、かつ熱発生源を有する構成要素と、前記構成要素に熱媒体液を接触させて前記構成要素を設定温度に加熱するための熱媒体液と、前記加工機械から出た前記熱媒体液を予め決められた一定温度に冷却するため前段冷却手段と、前段冷却手段から送られた前記熱媒体液を加熱するための加熱制御用ヒータと、前記加熱制御用ヒータの発熱量を制御するため加熱制御手段と、前記加熱制御用ヒータから出てきた前記熱媒体液を一時的に蓄え、かつ前記加工機械に送るための密閉型減衰タンクと、機械温度を検知するための機体温度センサと、前記加熱制御用ヒータの出口の前記熱媒体液の送油温度を検知するための送液温度センサと、前記構成要素の出口の前記熱媒体液の戻り油温度を検知するための機械出口液温センサと、前記機体温度センサ、前記送液温度センサ及び機械出口液温センサの検出温度データを受取り演算して、前記加熱制御手段に温度を出力するためのパソコンとからなる工作機械の超精密温度制御システム。

【0012】前記前段冷却手段は、前記熱媒体液を冷却媒体で冷却するための熱交換器と、前記冷却媒体の流量を制御するための電磁膨脹弁と、前記電磁膨脹弁をPID制御して前記熱媒体液を設定温度に制御するための前段冷却温度調節器とを設けると良い。

【0013】前記加熱制御手段は、前記加熱制御用ヒータへ供給する電力を制御するための定電力サイリスタ位相制御器と、前記パソコンからの目標温度指令により前記定電力サイリスタ位相制御器をPID制御するための高精度PID温度調節器を用いると更に良い。

【0014】前記工作機械の超精密温度制御システムにおいて、前記戻り油温度の設定値と、実際に制御されている戻り油温度との温度差だけを前記送油温度の制御目標値とし、かつ前記戻り油温度が目標値に対して一定の範囲内にあれば前記制御目標値を変えないように制御するとより精密な制御が可能になる。

【0015】

【作用】パソコン5は、熱媒体液の戻り油温度 T_2 の設

定値 T_c と、実際に制御されている戻り油温度 T_2 との温度差 $\Delta T = T_c - T_2$ だけ送油温度 T_o の制御目標値 $T_{o, new}$ を更新、修正するために高精度PID温度調節器に指令する。高精度PID温度調節器はこの指令を受けて、定電力サイリスタ位相制御器を介して加熱制御用ヒータの発熱量を制御する。加熱制御用ヒータは、熱媒体液を加熱して密閉型減衰タンクを介して加工機械に送る。熱媒体液は、加工機械で熱を交換して前段冷却手段に戻す。

【0016】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面にしながら説明する。図1は、工作機械の超精密温度制御システムの概要を示す機能ブロック図である。超精密加工機1は、本実施例では光学レンズ等の超精密加工を行う工作機械である。

【0017】本実施例の超精密温度制御システムは、油静圧案内面及び軸受を有する工作物テーブルの油圧作動油の温度を超精密に温度制御するためのものである。制御部2は、超精密加工機1の動作を制御するためのコントローラである。超精密加工機1の制御部2は、プログラマブルコントローラ(PC)2a及び数値制御装置(NC)2bよりなる。NC2bは、超精密加工機1の各軸の駆動を制御するものであり、周知の制御装置である。

【0018】制御部2には、インターフェイス3及びA/Dコンバータ4を介してパソコン5に接続されている。インターフェイス3は、超精密加工機1の機体温度、作動油の戻り油温度、作動油の供給油温、制御部2の情報をA/Dコンバータ4に信号を送るために信号レベルを統一するためのものである。すなわちインターフェイス3は、温度センサーで検出された電圧の大きさを温度の大きさと一致させるためにリニアライズ処理及びA/Dコンバータ4へ送る電圧の大きさの調整などの処理を行うものである。

【0019】A/Dコンバータ4は、インターフェイス3からのアナログ入力をデジタル信号に変換するためのものである。デジタル信号に変換された信号は、パソコン5に入力される。パソコン5は、市販されている周知のパーソナルコンピュータである。パソコン5には、CRT6、プリンターなどが接続されている。パソコン5で演算された送油温度の目標指令値 $T_{o, new}$ は、まず超精密温度制御装置8のパソコン用インターフェイス9に入力される。

【0020】パソコン用インターフェイス9は、パソコン5からの指令値 $T_{o, new}$ を受け取り信号レベルを合わせた後、高精度PID温度調節器10に送る。高精度PID温度調節器10は、比例ゲイン、積分時間、微分時間を適当にかえることにより、特性をある程度自由に選べるような公知のPID温度制御装置である。高精度PID温度調節器10の出力信号は、液温制御操作体11

【作用】パソコン5は、熱媒体液の戻り油温度 T_2 の設

に出力される。液温制御操作体11は、静圧作動油を指令温度 $T_{0, \text{NEW}}$ にするために加熱または冷却するための手段である。この構造の詳細を図2に示す。

【0021】液温制御操作体11から出た静圧作動油は、配管12を通して超精密加工機1に供給される。超精密加工機1に供給された静圧作動油は、内部を通り熱交換された後、配管13を通して再び液温制御操作体11に送る。一方、パソコン5には、外部リレー出力ユニット14に接続されている。外部リレー出力ユニット14は、パソコン5からデジタル信号を受け取り、この信号をリレーのコイルにアナログ出力するためのユニットであり、アラーム等の信号PC2aに対して出力する。

【0022】本実施例では、超精密加工機1の急激な温度変化などのとき異常と判断して、制御部2に指令し超精密加工機1を停止させるなどの処理を行う。以上のようなシステムにおいて、4個の温度センサ T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 が温度制御システムの各位置に配置されている。ただし、機械入口油温度センサ T_1 は、単に温度を計測し、監視するためのものであり、制御用には使っていない。送液温度センサ T_0 、機械入口液温センサ T_1 、機械出口液温センサ T_2 、機体温度センサ T_3 には、リニアリティの高い白金測温抵抗体を用いた。

【0023】送液温度センサ T_0 は、液温制御操作体11からの静圧作動油の出口に配置され、その出口油温を計測する。機械入口液温センサ T_1 は、超精密加工機1の静圧作動油の入口に配置されその入口油温を計測する。機械出口液温センサ T_2 は、超精密加工機1から静圧作動油が出てくる位置に配置され、その出力された油温を計測する。機体温度センサ T_3 は、超精密加工機1の機体に配置されその温度を計測する。この機体温度センサ T_3 は、時定数の小さい機体部分の温度を計測し、直接制御する場合の制御用センサとする。

【0024】液温制御操作体11

図2は、更に詳細な本システムの概略構成を示す。同図は、超精密加工を行う工作機械において、油静圧案内面及び軸受を採用するテーブルの静圧作動油の温度を超精密に温度制御と、この温度を計測・記録するためのシステムの詳細を示している。

【0025】液温制御操作体11は、次のような構成からなる。高精度PID温度調節器10からの出力信号は、定電力サイリスタ位相制御器16に入力される。定電力サイリスタ位相制御器16は、加熱制御用ヒータ17の電力、すなわち発熱量を高精度で調節するために位相制御するものであり、公知のものである。加熱制御用ヒータ17は、定電力サイリスタ位相制御器16の制御により、作動油を指令温度 $T_{0, \text{NEW}}$ に制御するための加熱ヒータである。

【0026】この加熱制御用ヒータ17には、送油ポンプ18から作動油が供給される。送油ポンプ18は、冷

却槽19から作動油を加圧して加熱制御用ヒータ17に配管20を介して送油するためのものである。加熱制御用ヒータ17を出た作動油は、密閉型減衰タンク21に送られる。密閉型減衰タンク21は、温度変動幅を最小にするために減衰性を良くしたものであり、外部が断熱された一種のバッファでもある。

【0027】密閉型減衰タンク21を出た作動油は、配管12を介して超精密加工機1に供給される。超精密加工機1に入った作動油は、機体の静圧軸受22の壁面との間で熱交換した後、配管13を通して冷却槽19に戻される。冷却槽19内の作動油は、常時一定温度になるように制御されている。

【0028】前段冷却手段

前段冷却制御用温度調節器30は、冷媒流路33に設けた電磁式膨脹弁32の開度を比例・積分・微分制御、すなわちPID制御して作動油の液温を直接制御し、それによって、作動油の温度を所望の温度に保っている。作動油の冷却は、冷却媒体流路33を流れる冷媒との間で熱交換させて、設定した温度に冷却して行うものである。冷凍圧縮機（図示せず）で循環させて熱交換器34で作動油との間で熱交換する。作動油は、攪拌モータ35に駆動される羽根36で常時攪拌され、均一な温度に保たれている。

【0029】作動

図3は、工作機械の超精密温度制御システムの制御系の構成を示すブロック線図である。制御部2からのフィードフォワード指令は、パソコン5に入力される。パソコン5は、予め記憶されている制御対象温度の計算式により、送液温度の目標値 $T_{0, \text{NEW}}$ を算出し、パソコン用インターフェイス9を介して高精度PID温度調節器10に指令する。

【0030】高精度PID温度調節器10は、この目標値 $T_{0, \text{NEW}}$ の指令を受けて定電力サイリスタ位相制御器16に指令する。定電力サイリスタ位相制御器16は、加熱制御用ヒータ17を制御して必要な加熱を作動油（熱媒体液）に対して行う。

【0031】作動油は、密閉型減衰タンク21を出て超精密加工機11に入力される。このときの送液温度センサ T_0 の検出温度 T_0 は、高精度PID温度調節器10に途中からフィードバックさせる。

【0032】高精度PID温度調節器10に検出温度 T_0 をフィードバックして局部フィードバック回路を構成すると応答を早めることになる。また、工作機械の機体温度 T_3 は、パソコン5にフィードバックされる。超精密加工機1から出た作動油の送り温度 T_2 は、パソコン5にフィードバックされる。この方式から理解されるように、このシステムはカスケード制御である。

【0033】なお、密閉型減衰タンク21は、密閉された容器であり、熱が拡散することもないので、通常は $T_1 = T_2$ となる。その作動油は、密閉型減衰タンク21

を通過せしめることにより、送油温度を0.005℃程度に超精密に温度制御されるようになっている。

【0034】パソコン5は、インターフェイス3を介して、高精度のA/Dコンバータで電圧信号をデジタル信号を変えて、各部温度センサ T_0 、 T_2 、 T_3 の3箇所の温度情報を取り込み、指令温度 $T_{0,NEW}$ を演算し、0.001℃の高分解能で温度検知を行う。

【0035】また、インターフェイス3には主機側のPC2aから、テーブル回転数に比例した電圧指令を取り込むこともできる。これをフィードフォワード信号としてテーブル回転速度を取り込み、パソコン側でフィードフォワード信号としてデータを処理する。

【0036】ところで、本実施例の油静圧テーブルの熱負荷は、テーブル回転数によって変動するが、加工精度を高める場合には送油温度（機械入口温度） T_1 を一定に制御するよりも戻り油温度 T_2 を一定に制御することが、油温と機械機壁との定常偏差が小さくなるという理由から望ましい。しかしながら、戻り油温度（機械出口液温） T_2 のみ検知して、高精度PID温度調節器10にフィードバックして加熱制御用ヒータ17を制御すると、機械入口から液温センサ T_2 に至る間の無駄時間があるため、通常のPID制御ではサイクリングして良好な制御を行うことができない。

【0037】そこで、戻り油温度 T_2 の設定値 T_c と、実際に制御されている戻り油温度 T_2 との温度差 $\Delta T = T_c - T_2$ だけを送油温度の制御目標値 $T_{0,NEW}$ として更新、修正する制御方式を採用した。このことで、時間送れの影響を小さくすることができる。その場合でも $T_{0,NEW}$ を更新してから、戻り油温度センサ T_2 で検知する間での時間送れにより、戻り油温度 T_2 は長周期の温度変動（うねり）を生じる。これによる変位変動を防止するために、戻り油温度 T_2 が目標値に対してある範囲内（例えば目標値 ± 0.005 ℃以内）にあれば制御目標値 $T_{0,NEW}$ を変えないようにすることで、戻り油温度 T_2 を安定化させ、変位変動を抑制している。

【0038】更に、単なるフィードバック制御のみでは、負荷変動時の過渡偏差が大きく、しかも定常状態に落ち着くまでの整定時間が、かなり長時間かかるので、これを改善する手段として、フィードフォワード制御を採用しても良い。フィードフォワード制御は、主機1の発熱状態を予見し、あらかじめ制御の時間送れを見込んで、主機1側の負荷変動時に発熱量に見合った指令温度 $T_{0,NEW}$ を指令することで、過渡偏差を小さくし、かつ応答性を大幅に改善することができる。その場合、パソコン5上で適正なパラメータを設定することで、最適な

制御状態を実現させる。

【0039】また、各部温度情報 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 は、パソコン5側に取り込まれているので、それらの値をデータ処理し、ある時間間隔で温度情報をデジタル的に記録したり、あるいはグラフ表示することによって、制御状態を確認することができる。この確認後、各パラメータを変更し制御を理想状態にする。

【0040】また、制御している戻り油温度 T_2 に、アラーム用の上、下限が設定されているので、なんらかの不具合により、このリミットを越えた場合は、アラーム信号を外部リレー出力ユニット14を介して主機1に対して出力するアラーム出力機能を有している。

【0041】

【他の実施例】また、前記実施例では戻り油温度 T_2 を制御した場合について述べたが、その他にも、機体温度をセンサ T_4 で検知して、その機体温度 T_4 が目標値になるように制御する直接制御や、送油温度と戻り油温度の平均値が目標値になるように制御する平均値制御等、制御対象温度をパソコン5上の計算式を変えるだけで、自由に変えることができる。

【0042】

【発明の効果】以上述べたように、従来技術では不可能であった負荷変動が大きい系や無駄時間要素を含む制御対象を、例えば0.001℃単位で超精密に温度制御することが可能となった。また、パソコンを温度制御の主体として用いることにより、多目的でフレキシブルな超精密温度制御が可能となり、かつ同時に温度制御状態を計測・記録できるトータルなシステムの構築が可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、工作機械の超精密温度制御システムの概略を示す機能ブロック図である。

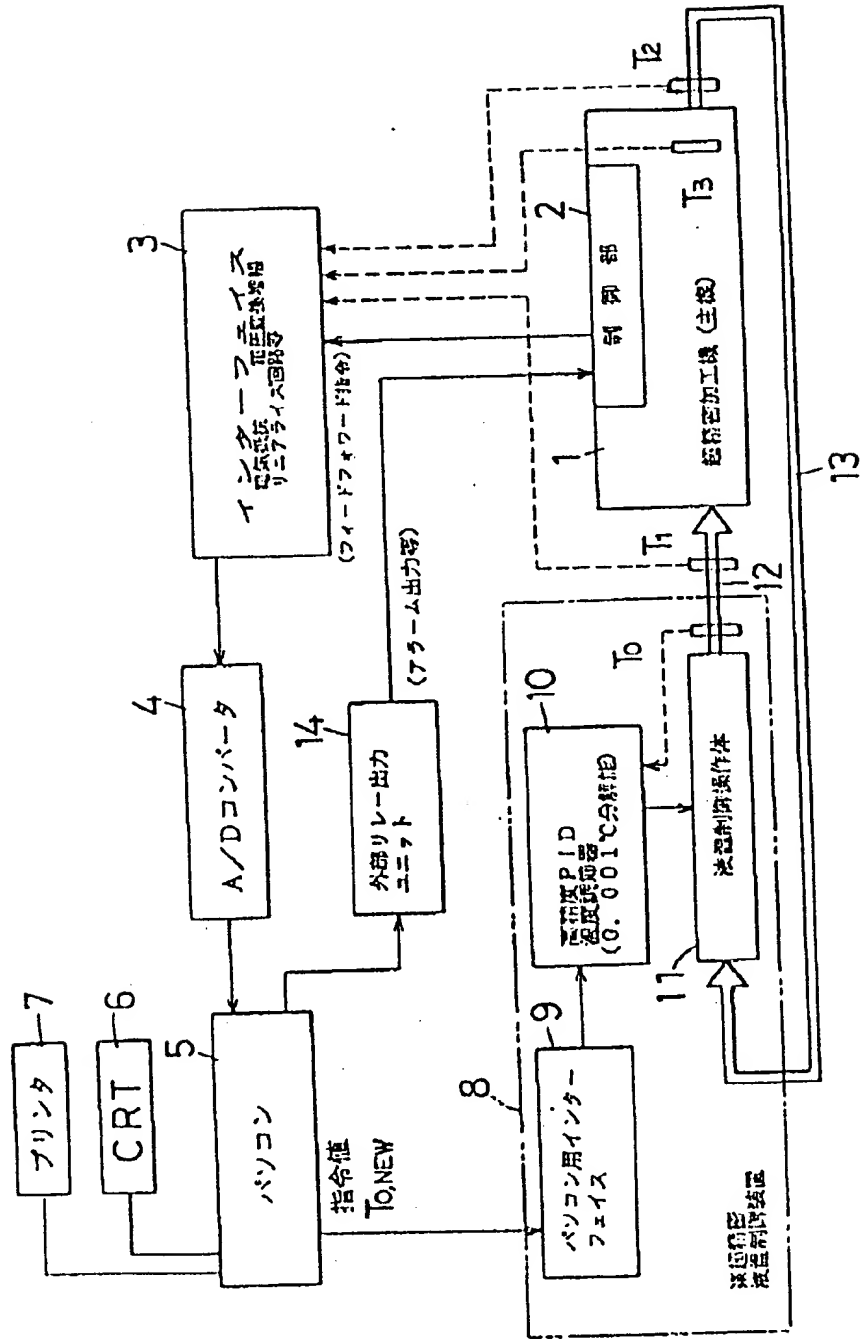
【図2】図2は、図1のブロック図の詳細な機能ブロック図である。

【図3】図3は、図1、図2に示す超精密温度制御システムの信号の流れを示すブロック図である。

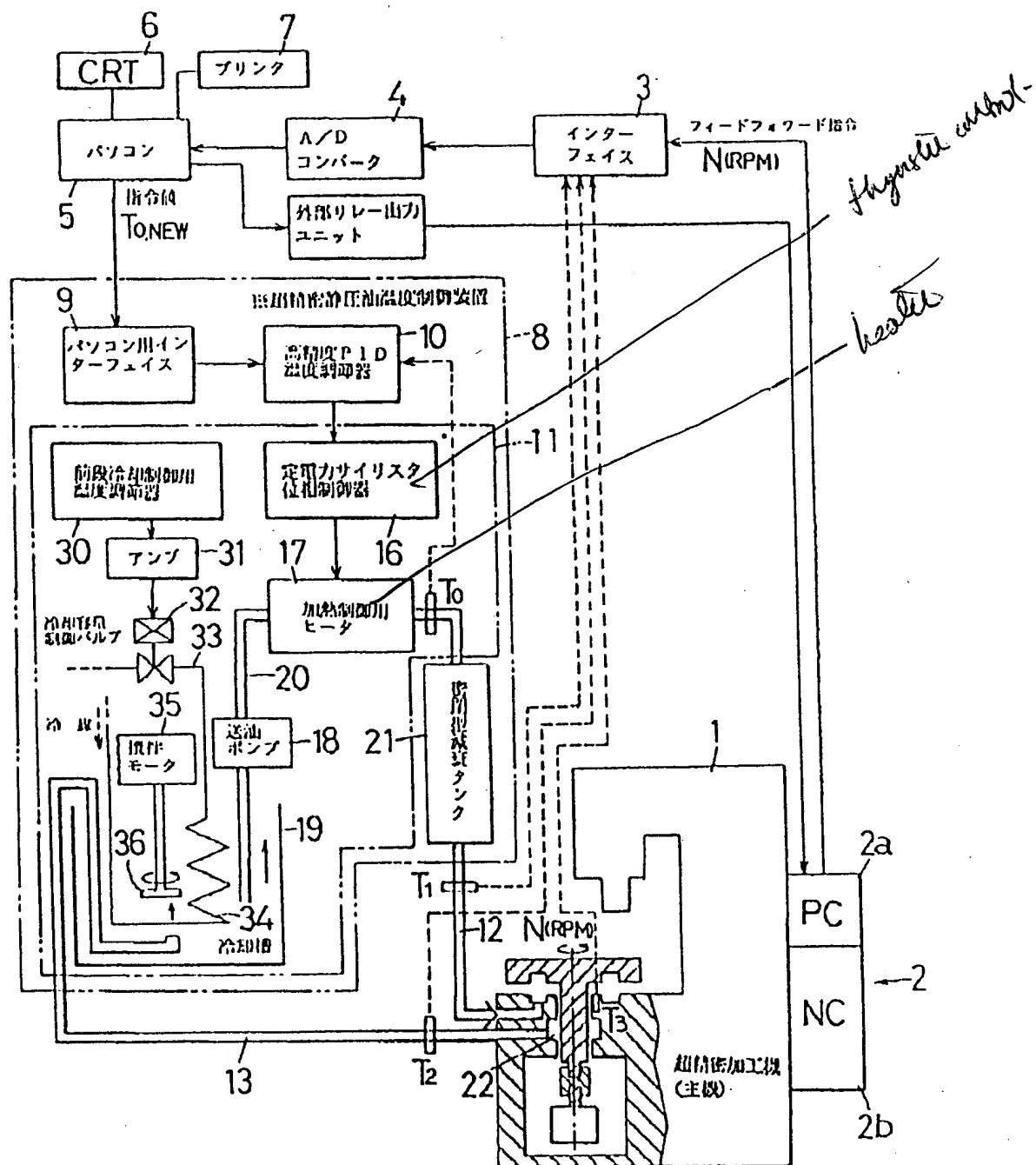
【符号の説明】

1…超精密加工機、2…制御部、2a…プログラマブルコントローラ（PC）、2b…数値制御装置（NC）、3…インターフェイス、4…A/Dコンバータ、5…パソコン、6…CRT、8…超精密液温制御装置、9…パソコン用インターフェイス、10…高精度PID温度調節器、11…液温制御操作体、16…定電力サイリスタ位相制御器、17…加熱制御用ヒータ、19…冷却槽、21…密閉型減衰タンク、34…熱交換器

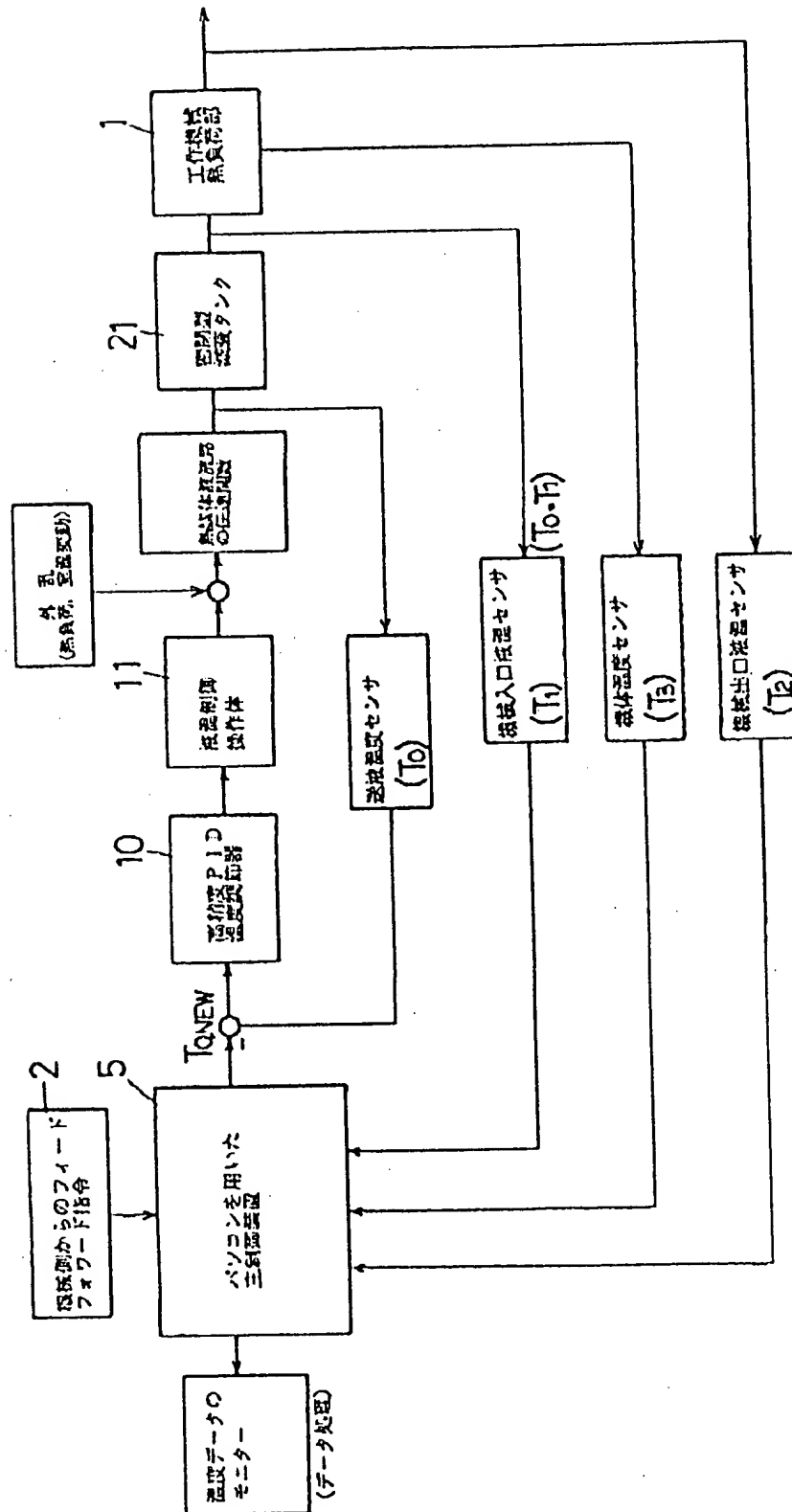
【図1】



【图2】



【图 3】



(72)発明者 ▲えび▼沢 恭一
群馬県前橋市大渡町二丁目1番地の10 関
東精機株式会社内

(72)発明者 浦野 好市
群馬県前橋市大渡町二丁目1番地の10 関
東精機株式会社内